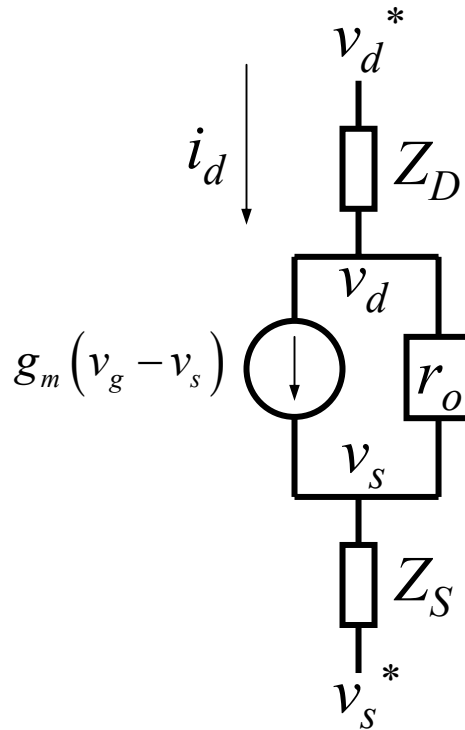
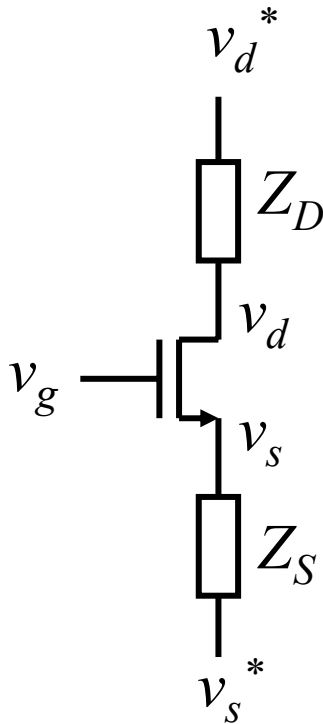


# 情報デバイス工学特論

## 第6回

### CMOS基本回路(2)

# 増幅回路の利得



$$v_d = v_d^* - i_d Z_D$$

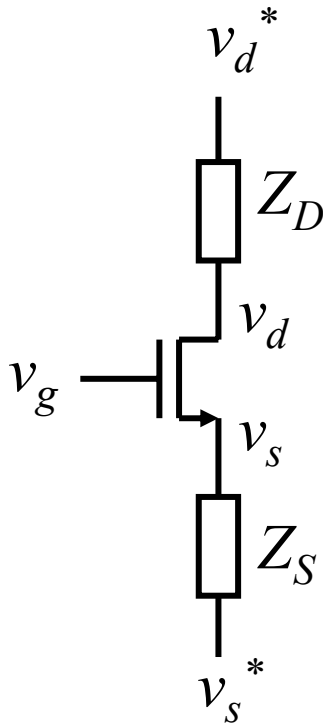
$$i_d = g_m (v_g - v_s) + \frac{v_d - v_s}{r_o}$$

$$v_s = v_s^* + i_d Z_S$$



$$i_d = \frac{g_m v_g - \left( g_m + \frac{1}{r_o} \right) v_s^* + \frac{v_d^*}{r_o}}{1 + g_m Z_S + \frac{Z_S + Z_D}{r_o}}$$

# 電圧電流変換係数



ソース接地増幅回路

$$v_s^* = v_d^* = 0$$

$$G_m = \frac{i_d}{v_g} = \frac{g_m r_o}{r_o + Z_S + Z_D + g_m r_o Z_S}$$

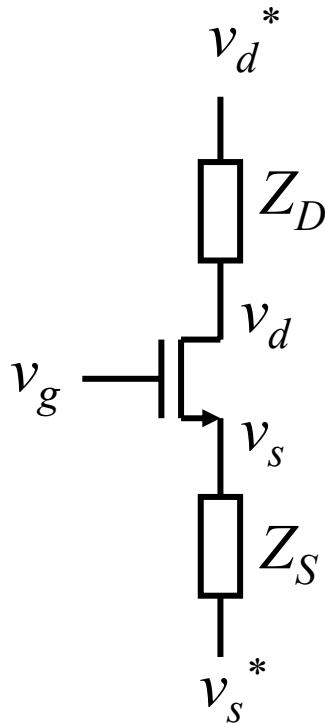
ゲート接地増幅回路

$$v_g = v_d^* = 0$$

$$i_d = \frac{g_m v_g - \left( g_m + \frac{1}{r_o} \right) v_s^* + \frac{v_d}{r_o}}{1 + g_m Z_S + \frac{Z_S + Z_D}{r_o}}$$

$$G_m = \frac{-i_d}{v_s^*} = \frac{g_m r_o + 1}{r_o + Z_S + Z_D + g_m r_o Z_S}$$

# 出力抵抗



## ソース側からみた抵抗

$$v_g = v_d^* = 0$$

$$R_S^* = \frac{v_s^*}{-i_d} = \frac{r_o + (g_m r_o + 1)Z_S + Z_D}{g_m r_o + 1} \approx \frac{1}{g_m} + Z_S + \frac{Z_D}{g_m r_o}$$

ソース側から見ると  $Z_D$  は  $1/g_m r_o$  倍に見える

## ド레인側からみた抵抗

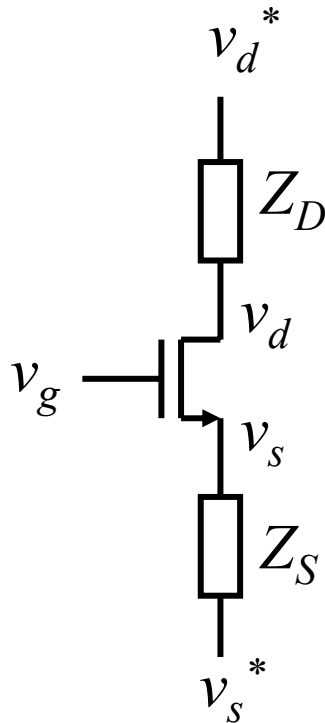
$$v_g = v_s^* = 0$$

$$R_D^* = \frac{v_d^*}{i_d} = r_o + (g_m r_o + 1)Z_S + Z_D \approx r_o + g_m r_o Z_S + Z_D$$

ド레인側から見ると  $Z_S$  は  $g_m r_o$  倍に見える

$$i_d = \frac{g_m v_g - \left( g_m + \frac{1}{r_o} \right) v_s^* + \frac{v_d^*}{r_o}}{1 + g_m Z_S + \frac{Z_S + Z_D}{r_o}}$$

# 電圧利得



$$i_d = \frac{g_m v_g - \left( g_m + \frac{1}{r_o} \right) v_s^* + \frac{v_d^*}{r_o}}{1 + g_m Z_S + \frac{Z_S + Z_D}{r_o}}$$

ソース接地  $v_s^* = v_d^* = 0, Z_S = 0$

$$A = \frac{v_d}{v_g} = -g_m (Z_D \parallel r_o)$$

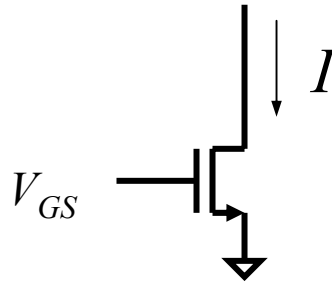
ドレイン接地  $v_s^* = v_d^* = 0, Z_D = 0$

$$A = \frac{v_s}{v_g} = \frac{g_m (Z_S \parallel r_o)}{1 + g_m (Z_S \parallel r_o)}$$

ゲート接地  $v_g = v_d^* = 0, Z_S = 0$

$$A = \frac{v_d}{v_s^*} = \left( g_m + \frac{1}{r_o} \right) (Z_D \parallel r_o)$$

# 電流源回路



$V_{GS}$  を与えれば電流  $I$  が決まる

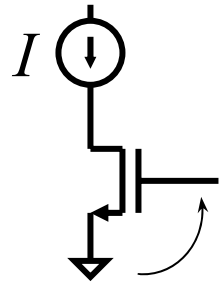
しかし、電流は  $V_{GS}$  で大きく変化  
所定の電流を与えるには精度の高い電圧  $V_{GS}$  が必要



別の方法：電流をコピーする  
カレント・ミラー

# 基本電流源回路

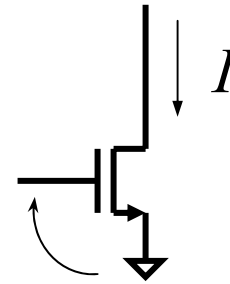
電流→電圧



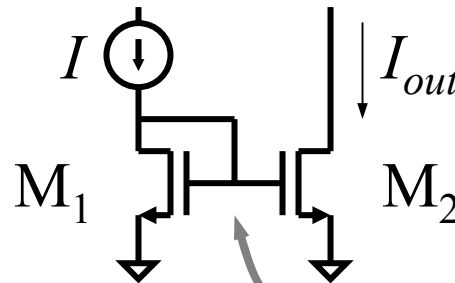
$$V_{GS} = V_T + \Delta$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{2I}{\beta}}$$

電圧→電流



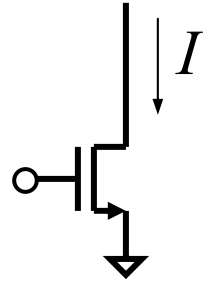
電流のコピー＝カレント・ミラー回路



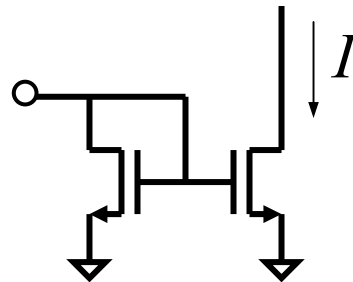
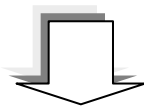
$$I_{out} = \frac{\beta_2}{\beta_1} I$$

フローティング・ノードを作らないこと

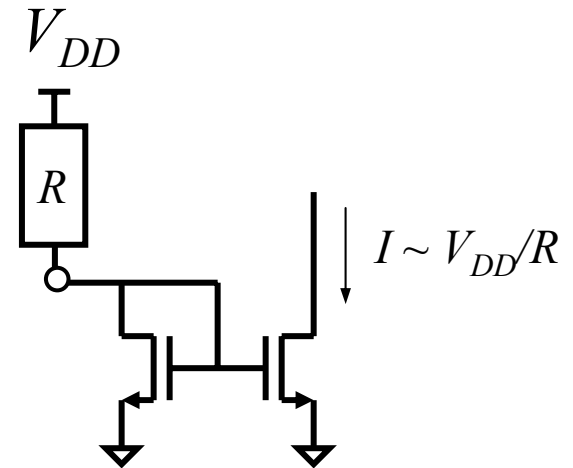
# バイアス端子の外部への出し方



- ゲート電圧により電流を決めるのは困難  
(閾値のばらつき)
- ゲート絶縁破壊を起こしやすい

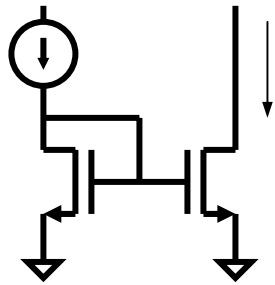


ゲートは拡散層につながっている  
のでゲート絶縁破壊に強い

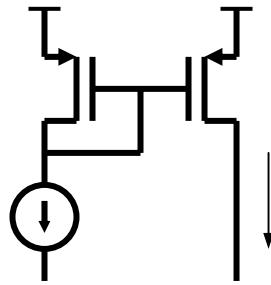


抵抗＝最も簡単な電流源

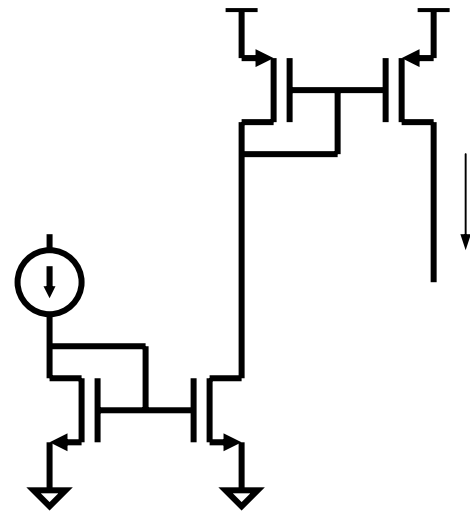
nMOSFET と pMOSFET により電流供給・電流引抜の電流源を作ることができる



電流引抜

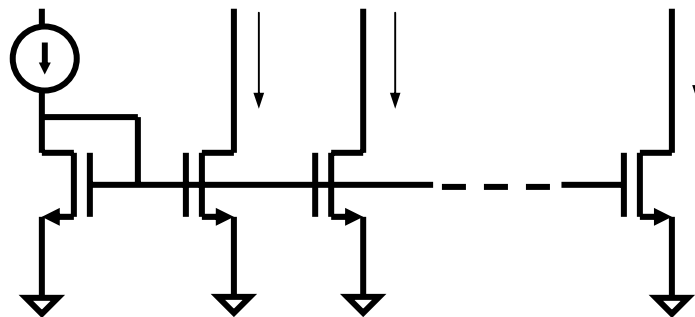


電流供給

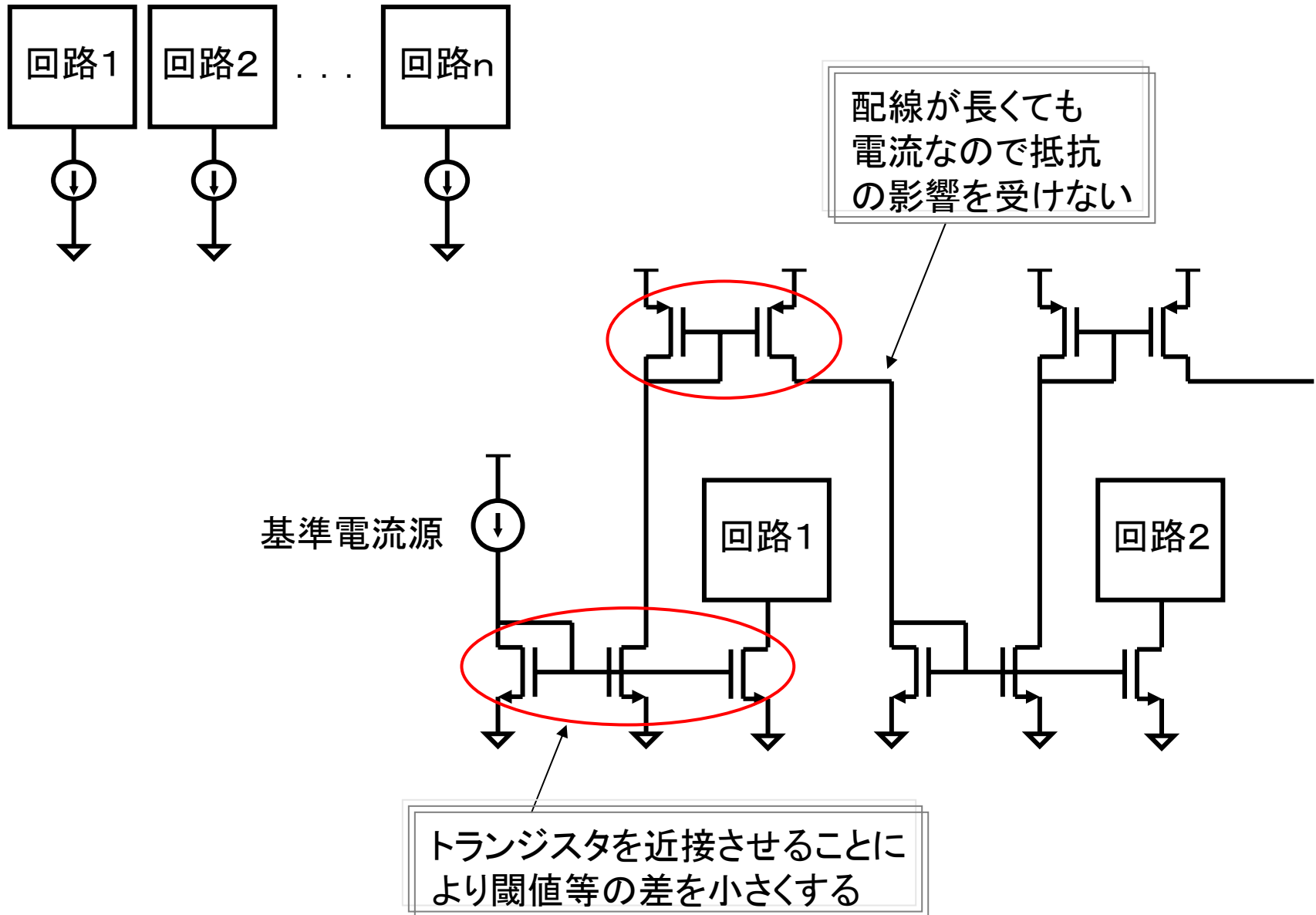


組み合わせ

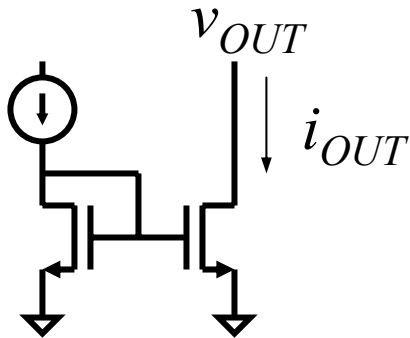
増殖



## 複数の回路に同じ電流を流したい

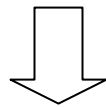


# カスコード電流源回路

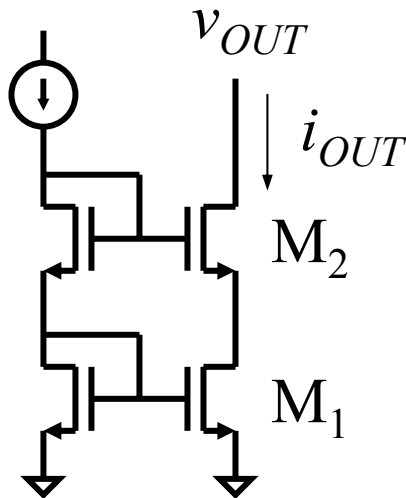


出力電圧の変動により電流が変化

$$\Delta i_{OUT} = \frac{\Delta v_{OUT}}{r_o}$$



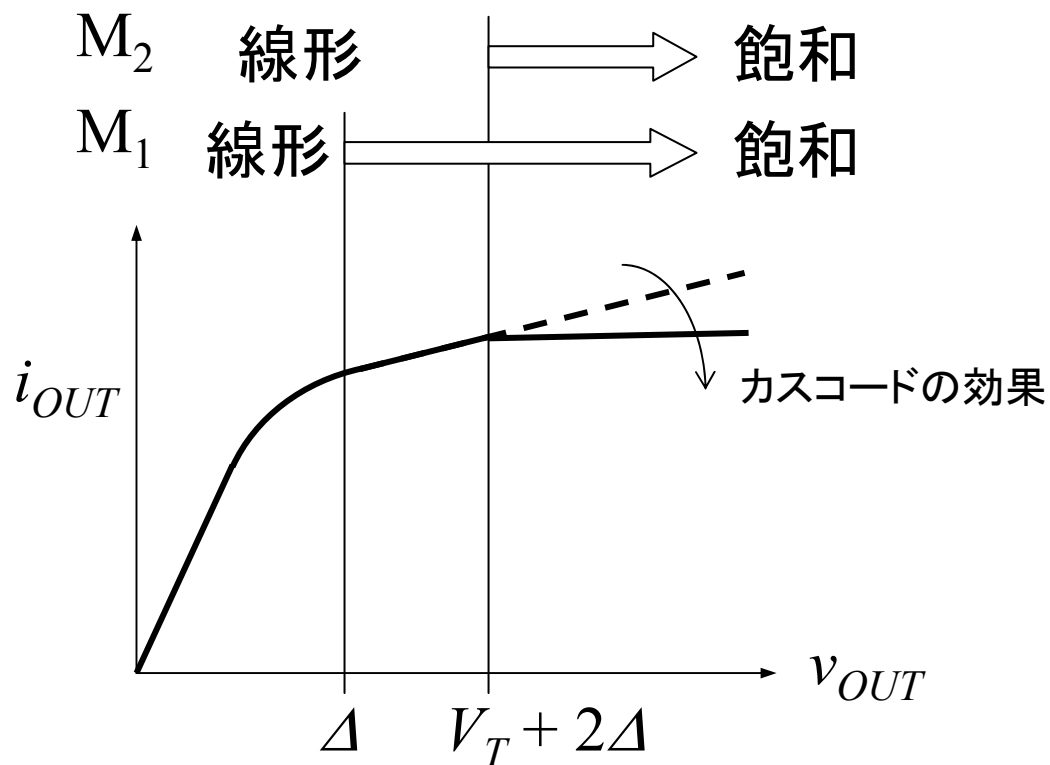
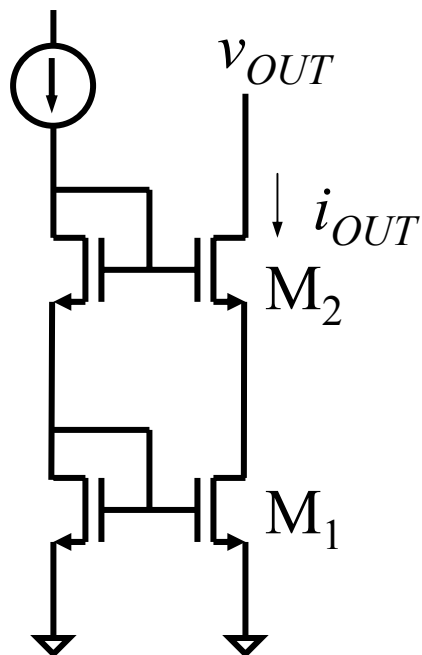
カスコード接続



$v_{OUT}$  から見た出力抵抗  
 $= M_1$  の出力抵抗  $\times M_2$  の真性ゲイン  
 $= r_{o1} \times g_{m2} r_{o2}$

$$\Delta i_{OUT} = \frac{\Delta v_{OUT}}{r_{o1} g_{m2} r_{o2}}$$

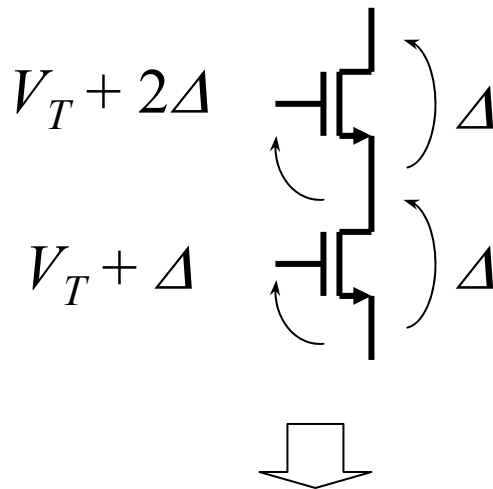
# カスコード電流源回路



動作領域が狭くなる

# 低電源電圧用電流源回路

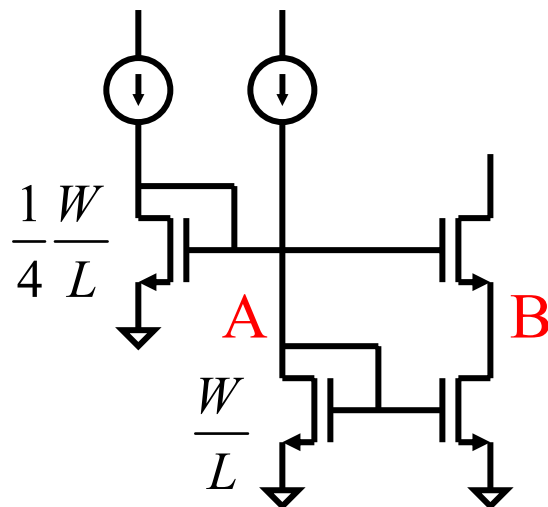
## カスコード接続での最小バイアス



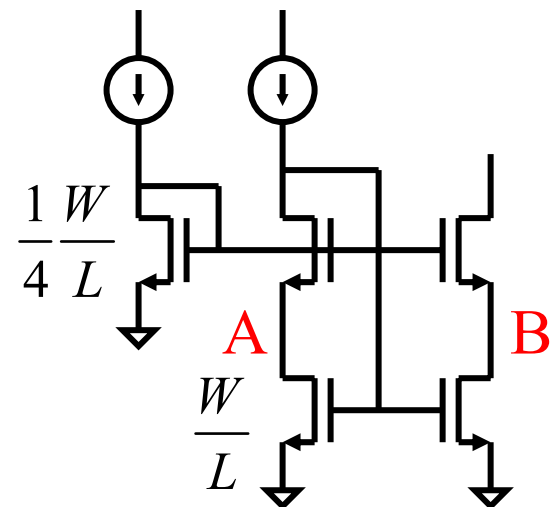
$$v_{OUT} > 2\Delta$$

$$\Delta = \sqrt{\frac{2I}{\beta}} \quad \beta = \frac{W}{L} \mu C_{ox}$$

$W/L$  を1/4 にすれば  $2\Delta$  を作る  
ことができる

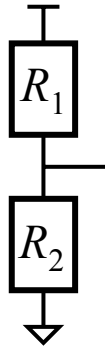


A と B の電圧が  
異なることによる  
チャネル長変調  
効果からの誤差



A と B は  
同電位

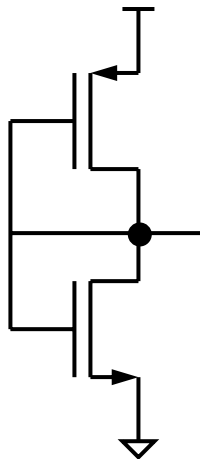
# 電圧源



$$V = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

- 抵抗は一般的に大きな領域を占める
- 電流を小さくしようとすると抵抗値が大きくなる→領域が更に大きくなる

トランジスタで作る



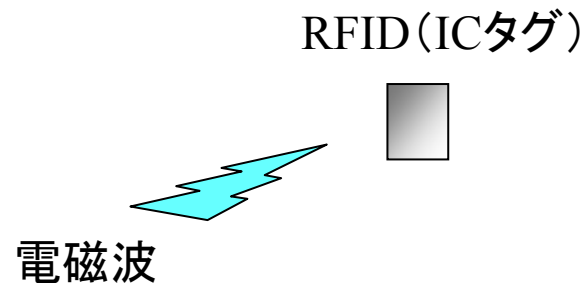
$$V = \frac{V_{DD} + V_{Tp} + \sqrt{\frac{\beta_n}{\beta_p}} V_{Tn}}{1 + \sqrt{\frac{\beta_n}{\beta_p}}}$$

# 外部電源電圧に依らない電源

回路の安定動作 : バイアス回路が重要

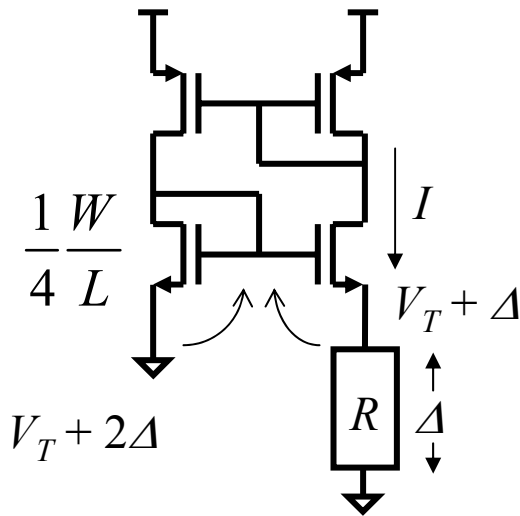
- ・電源電圧の変動(電池動作等)
- ・チップ製造ラインでのプロセスばらつき
- ・環境温度の変化

特に外部電源の変動に強い回路が求められる例



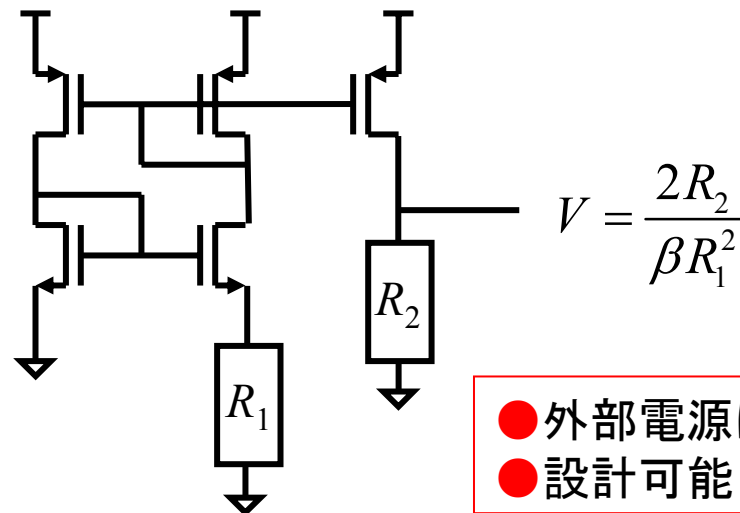
- 電磁波のエネルギーを変換して回路の電源に利用
- 電磁波の強弱(電磁波源との距離)の影響を受ける

# 外部電源電圧に依らない電源



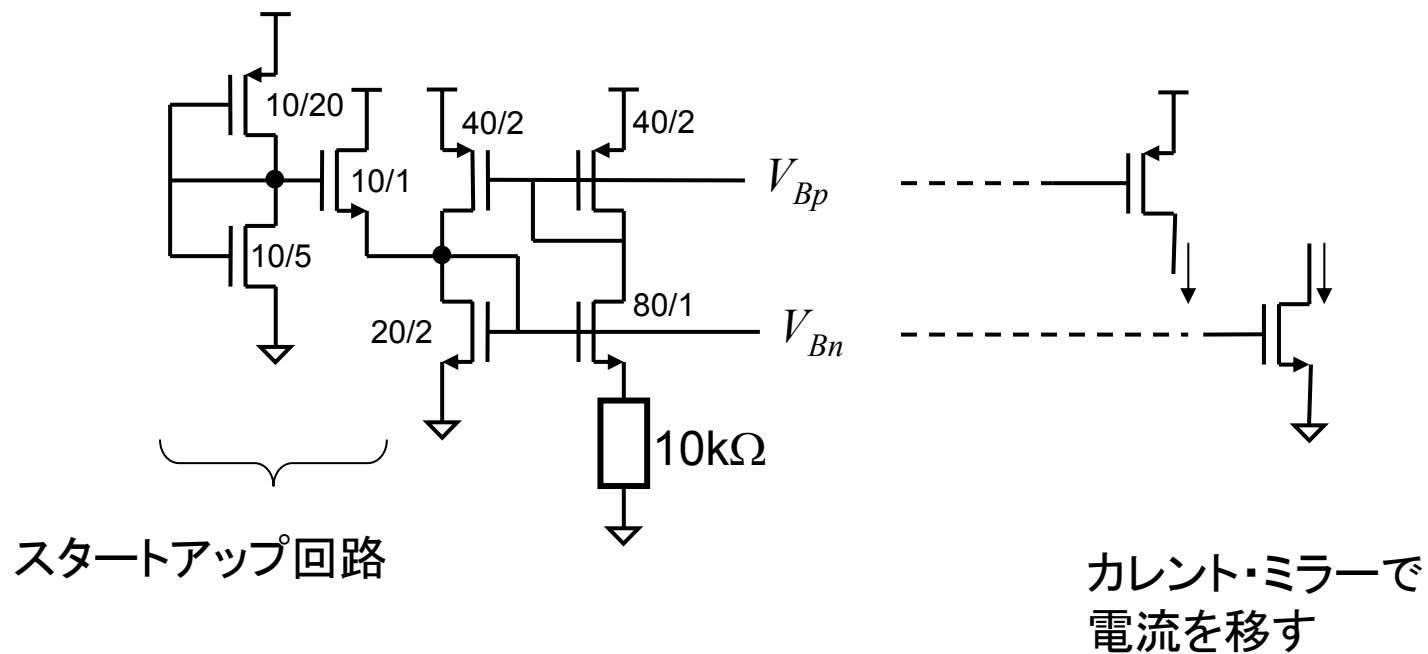
$$\Delta = \sqrt{\frac{2I}{\beta}} = IR$$

$$I = \frac{2}{\beta R^2}$$



- 外部電源に全く依存しない
- 設計可能

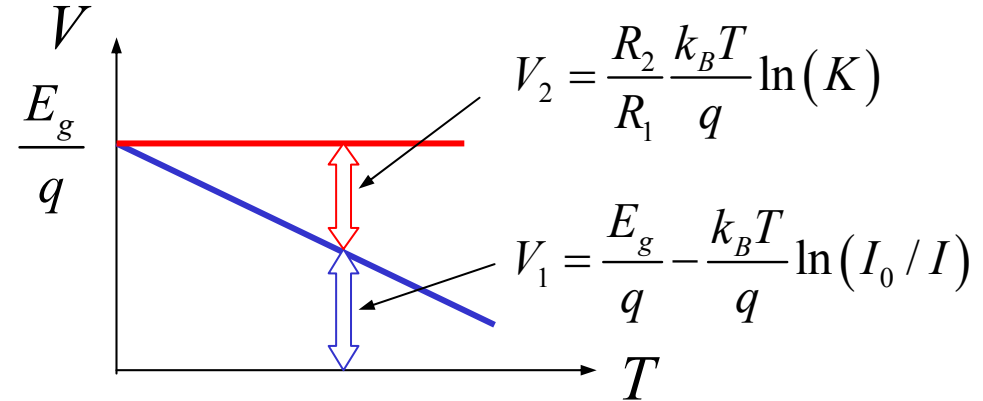
# 実際の回路例



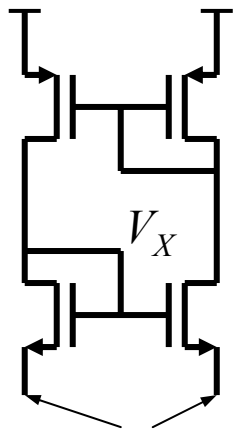
注) トランジスタサイズ  $W$ (チャネル幅)/ $L$ (チャネル長)

# バンドギャップ参照電源回路

$$I = I_0 e^{-\frac{E_g - qV}{k_B T}}$$

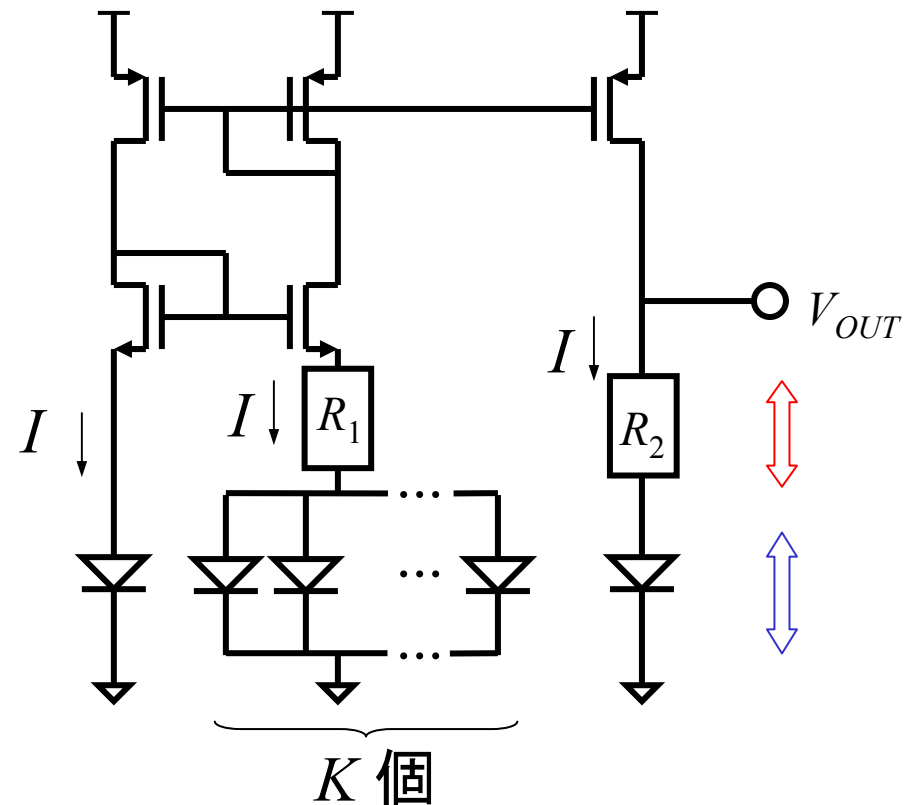


同一電流・同一電位を与える回路



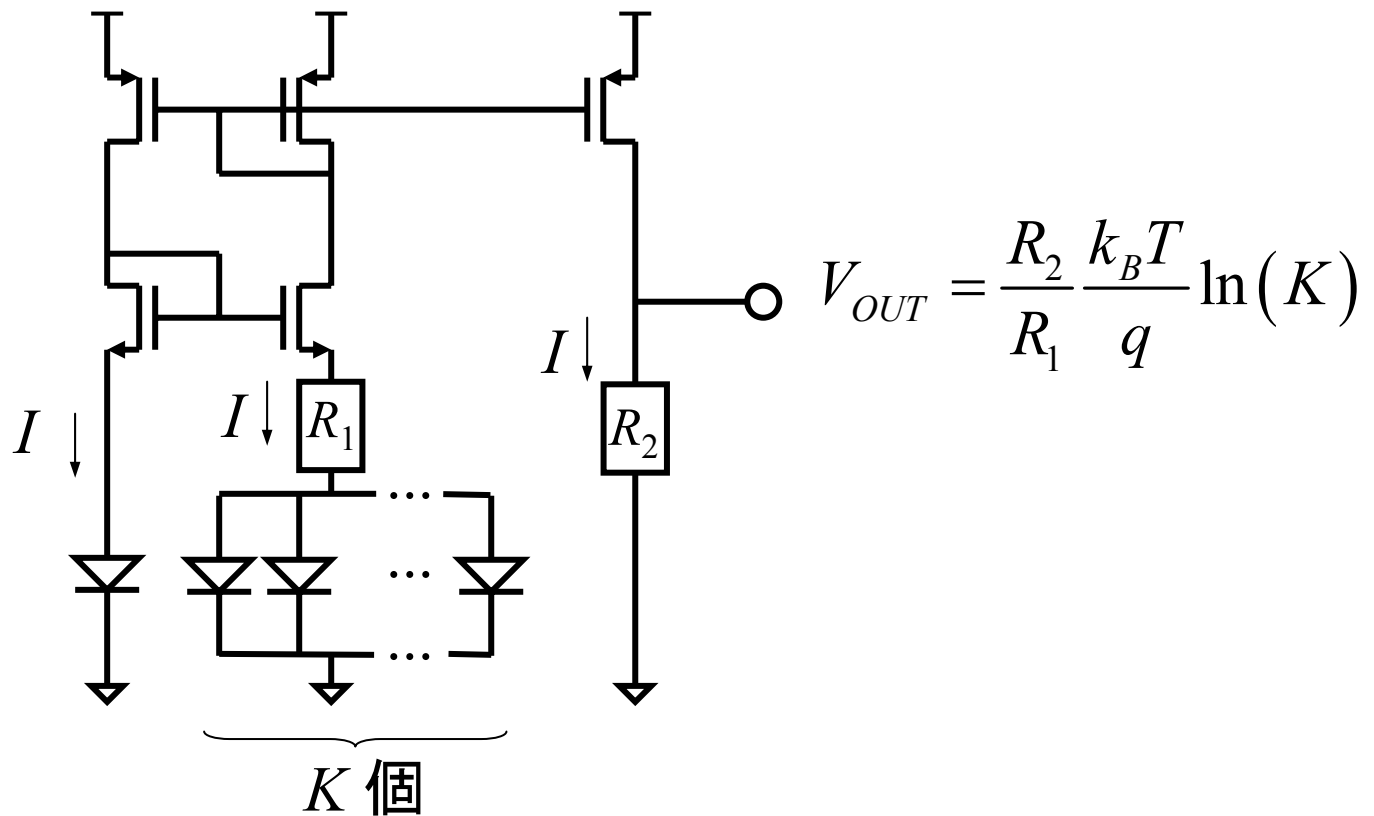
カレント・ミラー  
= 同一電流

どちらの電位も  
 $V_X - V_T - \Delta$



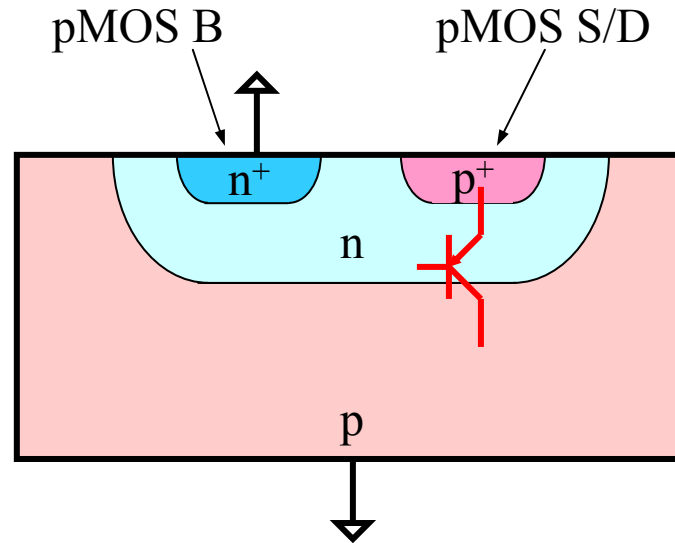
PTAT (proportional to absolute temperature)

$$I = \frac{1}{R} \frac{k_B T}{q} \ln(K)$$



# ダイオードの実現方法

pn接合として寄生バイポーラ  
トランジスタを用いる



$$I = I_0 e^{\frac{qV}{nk_B T}}$$

MOSFET のサブスレッショルド電流を用いることも可能

バイポーラの方が  $n$  値が安定